



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Isı borulu güneş kolektörlü kurutma sisteminin tasarımı ve deneysel analizi

Design and experimental analysis of heat pipe solar collector drying system

Yazar(lar) (Author(s)): Hakan DUMRUL¹, Edanur KAYA², Sezayi YILMAZ³

ORCID¹: 0000-0003-1122-3886

ORCID²: 0000-0001-5900-7002

ORCID³: 0000-0002-9342-9310

To cite to this article: Dumrul H., Kaya E. ve Yılmaz S., “Isı borulu güneş kolektörlü kurutma sisteminin tasarımı ve deneysel analizi”, *Journal of Polytechnic*, 26(2): 583-592, (2023).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Dumrul H., Kaya E. ve Yılmaz S., “Isı borulu güneş kolektörlü kurutma sisteminin tasarımı ve deneysel analizi”, *Politeknik Dergisi*, 26(2): 583-592, (2023).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.937433

Isı Borulu Güneş Kolektörlü Kurutma Sisteminin Tasarımı ve Deneysel Analizi

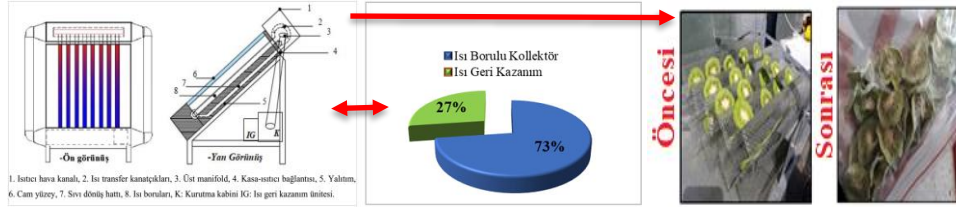
Design and Experimental Analysis of Heat Pipe Solar Collector Drying System

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Isı borulu, ısı geri kazanımlı ve güneş kolektörlü teknik bir kurutucu tasarlanıp imal edilmiştir./A technical dryer with a heat pipe, heat recovery and solar collector has been designed and manufactured.
- ❖ Deneyler sabit hava hızında açık ve kapalı çevrim olarak gerçekleştirilmiş ve ayrıca sistemin termodinamik analizi yapılmıştır./The experiments were carried out in open and closed cycles at constant air velocity and thermodynamic analysis of the system was also evaluated.
- ❖ Kurutma işleminde ısı geri kazanım ünitesinin sisteme katkısı %27 olarak belirlenmiştir./The contribution of the heat recovery unit to the system in the drying process was determined as 27%.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Enerji tasarruflu yeni bir kurutucu sistem geliştirilerek kivi'nin istenilen kurulukta işlenmesi sağlanmıştır./ A new energy-efficient drying system has been developed, enabling the kiwi to be processed to the desired dryness.



Şekil. Isı geri kazanım ünitesinin sisteme katkısı ve kurutulmuş kivi meyvelerinin görünümü /**Figure.** The contribution of the heat recovery unit to the system and the pictures of dried kiwi fruits

Amaç (Aim)

Yüksek nem içeriğine sahip kivi'nin, ısı borulu, ısı geri kazanımlı güneş kolektörlü enerji tasarrufu sağlayan hijyenik bir kurutucuda kurutulması amaçlanmıştır./It is intended to dry kiwi with high moisture content in an energy-saving hygienic dryer with heat pipe and heat recovery solar collector.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Hijyenik koşullarda kivi'nin enerji tasarrufu sağlayan sistem ile kurutulması için bir tasarım yapılmıştır./A design has been made to dry kiwi with an energy-saving system in hygienic conditions.

Özgünlük (Originality)

Enerji tasarruf modeli kullanılarak teknik ve yeni bir hijyenik kurutma sistemi imal edilmiştir./A technical and new hygienic drying system was manufactured using the energy saving model.

Bulgular (Findings)

Isı geri kazanım ünitesinden ortalama 60 W'lık enerji kazanımı sağlanmıştır. Açık çevrim deneylerinde kivi meyvesinin kurutulması için sabit hava hızında maksimum 44,4 °C sıcaklık değerine ulaşılmıştır./An average of 60 W of energy was gained from the heat recovery unit. In the open cycle experiments, a maximum temperature of 44.4 °C was reached at constant air velocity for drying the kiwi fruit.

Sonuç (Conclusion)

Tasarlanan ve imal edilen enerji tasarruflu kurutma sistemi ile kivi meyvesi esnek ve renginde bozulma olmadan kurutulmuştur./With designed and manufactured the energy-saving drying system, kiwi fruit was dried flexible and without discoloration.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Isı Borulu Güneş Kollektörlü Kurutma Sisteminin Tasarımı ve Deneysel Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hakan DUMRUL*, Edanur KAYA, Sezayi YILMAZ

Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 15.05.2021 ; Kabul/Accepted : 29.11.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 20.12.2021)

ÖZ

Endüstriyel ve tarımsal ürünler, doğal ve teknik yöntemler kullanılarak kurutulabilir. Kurutma maliyetini sıcak kurutma havasını elde etmek için harcanan enerji oluşturur. Bu çalışmada, kurutmanın enerji problemine çözüm üretmeye yönelik ısı borulu düzlemsel güneş kolektörlü ve ısı geri kazanımlı bir kurutma sistemi tasarlanmıştır. Karabük ili iklim şartlarında, sabit 1 m/s kurutma hızında, farklı ışınım değerlerinde, kuruma havası sıcaklığının değişimleri, ürün kütle kaybı ve kalitesi, ısı geri kazanımının sisteme katkısı deneysel olarak incelenmiş ve teorik analizleri yapılmıştır. Sistemde kapalı çevrimde içerisine ürün konulmadan yapılan deneyde sabit hava hızında ve ortalama 770 W/m² ışınım değerinde kurutucu sıcaklığının dış hava sıcaklık değerinin yaklaşık olarak %49'luk bir artışla ortalama 14,63 °C üzerine çıktığı belirlenmiştir. Ürün ile kurutma deneyinde kivi meyvesi kullanılmıştır. Etüv fırınında kurutulan kivilerde yaş baza göre hesaplanan nem miktarı 0.83 g su/g yaş madde, kuru baza göre hesaplanan nem miktarı 4.94 g su/g kuru madde ve kuru madde miktarı %16,8 olarak belirlenmiştir. Kurutma işlemine, son üç ağırlık değerleri eşit çıkana kadar devam edilmiş ve nem değeri 0,03 g su/g kuru madde olana kadar kurutma gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda ortalama 39.4 g değerine kadar kurumunun gerçekleştiği ve ürün ağırlığının %80 azaldığı belirlenmiştir. Sistemin genel verimi 4 Eylül saat 15:50'de 694,3 W/m² ışınım değerinde maksimum %39, ısı borulu kolektörün ortalama verimi %24 ısı geri kazanım ünitesinin verimi %28'dir. Kurutma işleminde harcanan enerjinin %27'si ısı geri kazanım ünitesi, %73'ü de ısı borulu kolektör tarafından karşılanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, ısı borulu düzlemsel güneş kolektörü, ısı geri kazanımı, kurutma.

Design and Experimental Analysis of Heat Pipe Solar Collector Drying System

ABSTRACT

Industrial and agricultural products can be dried using natural and technical methods. The energy spent to obtain the hot drying air constitutes the drying cost. In this study, a heat recovery drying system with heat pipe, planar solar collector and heat recovery is designed to solve the energy problem of drying. Changes in drying air temperature, product mass loss and quality, contribution of heat recovery to the system in Karabük province climatic conditions, constant 1 m/s drying rate, different irradiation values, were experimentally examined and theoretical analyzes were made. In the experiment, which was carried out in the closed cycle without putting the product inside the system, it was determined that the dryer temperature increased to an average of 14.63 °C with an increase of approximately 49%, at a constant air speed and an average irradiance value of 770 W/m². Kiwi fruit was used in the drying experiment with the product. In the kiwis dried in the oven, the moisture content calculated according to the wet base was 0.83 g water/g wet matter, the moisture content calculated according to the dry basis was 4.94 g water/g dry matter and the dry matter amount was 16.8%. The drying process was maintained until the last three weight values became equal and drying was carried out until the final moisture value was 0.03 g water/g dry matter. As a result of the measurements, an average drying was determined as 39.4 g and the weight of the product decreased by 80%. The general efficiency of the system at 15:50 on September 4, at an irradiation value of 694.3 W/m², is maximum 39%, the average efficiency of the heat pipe collector is 24%, and the efficiency of the heat recovery unit is 28%. 27% of the energy consumed in the drying process was met by the heat recovery unit and 73% by the heat pipe collector.

Keywords: Solar energy, heat pipe planar solar collector, heat recovery, drying

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kurutma, tarımsal ürünlerin uzun süre muhafaza edilmesi için uygulanan yöntemlerden biridir [1]. Terim anlamı olarak kurutma, bir madde içinde bulunan su veya sıvının uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Meyve ve sebzelerin ihtiva ettiği yüksek oranlardaki su değerinin daha düşük değerlere ulaştırılarak ürünlerin daha uzun

süre dayanması sağlanır [2]. Kurutma işlemi yalnızca koruma amaçlı değildir. Aynı zamanda piyasa değerlerini yükseltmek ve tatlarını daha yoğun olarak değiştirmek için yapılmaktadır [3]. Ürünlerin daha yeşil ve sürdürülebilirliği açısından güneş ile kurutma en önemli tekniklerden biri olarak kabul edilir [4,5]. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde güneş enerjisi geniş uygulama alanları nedeniyle tercih edilen bir doğal kaynaktır. Temiz ve sürdürülebilirlik açısından önemli bir yeri vardır. Güneş ışınımını ısıya dönüştürerek en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan güneş kolektörleridir.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : hakandumrul@karabuk.edu.tr; hakandumrul@gmail.com

Güneş kolektörleri kullanılan akışkan türüne göre sınıflandırılırlar. Bunlar havalı veya sıvılı güneş kolektörleridir [6]. Hava ısıtmalı kolektörlerin verimlerini artırmak için ısı boruları kullanılmaktadır. Isı boruları içerisinde faz değiştiren bir akışkan bulunan ve çift faz esasına göre çalışan vakumlanmış kapalı bir borudur. Temel çalışma ilkesi, boru içindeki sıvı akışkan güneşten aldığı ısı enerjisiyle faz değiştirir ve buharlaşır. Buharlaşan akışkan ısı transferinin gerçekleşecek olduğu ortama doğru yükselir. Sahip olduğu ısıyı ilgili akışkana transfer ederek yoğunlaşır ve tekrar ısı borusunun alt kısmına geri dönmektedir. Bu döngü sisteme ısı girişi olduğu müddetçe devam etmektedir [7,8].

Geçmiş yıllardan beri insanoğlu basit yöntemler ile ürünlerini güneşte kurutup daha uzun süre saklamışlardır. Bugün gelişen teknolojiyle birlikte kurutma işlemi çok daha farklı yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni yalnızca kurutma amacına odaklanmak değil, aynı zamanda enerji ihtiyacını en aza indirip en verimli kurutmayı gerçekleştirebilmektir. Kurutma tekniklerinin geliştirilmesinde kolektör verimlilik derecesi, ürün cinsi ve biyolojik yapısının yanında çevre hava sıcaklığı rüzgâr hızı, nem ve güneş ışınımının yoğunluğu gibi parametreler etkilidir [9]. Bu kapsamda kurutma yöntemleri ile ilgili çalışmalar yapılmış olup; güneş enerjisi destekli direkt doğal kurutma ve yapay kurutma olarak adlandırılan endirekt (doğrudan ışıma maruz kalmayan) kurutma sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalara literatürde rastlanmaktadır [10]. Güneş enerjili kurutma sistemlerinde temel problem güneş enerjisinin sürekli olmamasıdır. Bu da kurutma sistemlerinde ek enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmasına sebep olmakta ve kurutma sürelerini uzatmaktadır. Güneş ışınımındaki bu değişimlerden dolayı kurutma işleminde güneş enerjisinin etki süresini uzatabilmek için Reyes ve ark. (2019), kontrol sistemli faz değiştirme yöntemiyle enerji depolayan çalışma yapmışlardır. Kontrol sistemi kullanılmadan depo edilen enerjinin %43'ü kullanılırken, geliştirdikleri kontrol sistemiyle depolanan enerjinin %10'unu kullanmışlar ve kurutma işleminde güneş enerjisinin etkinlik süresinin uzatılabileceğini göstermişlerdir. Tasarladıkları sistemde kullanılan kolektörlerin %56 ile 76 arasında verim hesaplamaları yapmışlardır [11]. Variyenli (2018), çalışmasında güneş enerjisi destekli düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarının performanslarının karşılaştırılmasını kivi kurutarak yapmıştır. Değişik hava hızlarında (2,5, 3,0 ve 3,5 m/s) deneyler gerçekleştirerek sistemlerin kurutma süresi performanslarını karşılaştırmıştır. Düz yüzeyli kurutma fırınında olan kurutma süresini ortalama 390 dakika olarak belirlerken, hapsedici yüzeyli kurutma fırınında yapılan ölçümlerde ise 2,5 m/s'de kurutma süresi 390 dakika, 3,0 m/s'de kurutma süresi 360 dakika ve 3,5 m/s'de kurutma süresinin 330 dakika sürdüğünü tespit etmiştir. Deneyler sonucunda hapsedici yüzeyli kurutma fırınının düz yüzeyli kurutma fırınına göre ortalama 30 dakika daha kısa sürede kurutma işlemini gerçekleştirdiği sonucuna ulaşmıştır [12]. Aktaş ve Kara (2013), güneş enerjili ve

ısı pompalı bir kurutucu tasarlayarak imal etmişler ve deneysel olarak incelemek üzere kivi kurutmuşlardır. Kivileri 35 °C, 40 °C, 45 °C ve 50 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve değişken hava hızlarında kurutma işlemlerine tabii tutmuşlar ve kurutma analizleri yapmışlardır. Kivi kurutulmasında kurutma süresine etki eden en önemli parametrenin kurutma havası sıcaklığı olduğunu ve bu sıcaklığı da kivi kurutulması için en ideal değer olan 50 °C olduğunu tespit etmişlerdir [13]. Dharmadurai ve ark (2020), dış reflektörlü güneş kurutucunun ısıl davranışı ve açık güneş kurutma tekniğini karşılaştırmıştır. Reflektörlü bir güneş kurutucu kullanmanın, açık güneş kurutmaya kıyasla kuruma süresini azalttığını göstermişlerdir [14]. Cankurtaran (2018), güneş enerjisi destekli bir kurutma sistemi kullanmıştır. Kurutma işleminin sürekliliğini sağlamak adına ise faz değişim maddeli bir enerji depolama sistemi geliştirmiştir. Bu çalışmalar sonucunda kurutulan çilek dilimlerinin özellikle nem tayinlerinin %27'nin ve su aktivitesi değerlerinin de 0,7'nin altında çıkmasından dolayı kuru madde olarak kabul edilebileceği ve uzun süre bozulmadan kalabileceği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, enerji depolaması yapılarak gerçekleştirilen deneylerde 48 MJ ısıl enerji depolandığı ve bu enerjinin çilek kurutma işleminde yeterli olduğu gözlemlenmiştir [15]. Suzihaque ve ark (2016), kahve çekirdeklerini kurutmak için güneş enerjili ısı geri kazanımlı bir kurutucu tasarlamış ve test etmişlerdir. Tasarlanan sistem ile gerçekleştirilen deneylerde yaş kahve çekirdeklerinin nem içeriğinin %53,46, kurutulmuş kahve çekirdeklerinin ise nihai nem içeriğinin %2,91 olduğunu belirlemişlerdir. [16]. Aktaş ve ark. (2016), güneş ısıyı geri kazanımı destekli kızılötesi bir kurutucuda kavunun kurutulmasının deneysel analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan kızılötesi kurutucu sistem yüksek enerji tükettiği için spesifik enerji tüketimini azaltmak için kızılötesi kurutucuya yeni güneş tipi hava kolektörü ve havadan havaya ısı geri kazanım ünitesi eklenmiştir. Üç boyutlu hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) simülasyonu ve kavun dilimlerinin kuruma kinetiği ile deneyler 50 °C ve 60 °C sıcaklığında ve 0,5 m/s hava hızında gerçekleştirilmiştir. Kavun dilimleri 9 g su/g kuru maddeden 0,044 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Isı geri kazanım ünitesinin kullanılan sistemde toplam girdi enerjisinin %23–28'ini sağladığını belirtmişlerdir. Ortalama güneş enerjisi kolektör verimi %50,6 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu göstermişlerdir [17].

Bu çalışmada da güneş enerjili ısı borulu ve ısı geri kazanımlı teknik bir kurutucuda sabit hava hızında kivi meyvesi kurutulması deneysel olarak incelenmiştir. Tasarlanan sistem ile enerji tüketimine çözüm bulmanın yanında, kurutulacak ürünlerin fazla yer kaplamadan, kapalı ortamlarda ürünleri dış ortamın olumsuz etkilerine maruz bırakmadan daha hijyenik bir kurutma gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada tasarlanan kurutma sisteminde kurutma havası kanal içerisinde ısı

boruları ile ısıtılarak, bir fan ile kurutma kabineine gönderilmektedir. Fırın içerisinde hava hızı 1 m/s olarak sabit tutulmuştur. Mevcut çalışmada, Karabük ili iklim şartlarında ve farklı günlerde, sabit kurutma hızında, değişen ışınım değerlerinde, kuruma havası sıcaklığının değişimleri, ürün kalitesi ve ısı geri kazanımının sisteme katkısının deneysel olarak incelenmesi ve teorik analizleri açıklanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Kurutma Sistemi Tasarımı (The Design of Drying System)

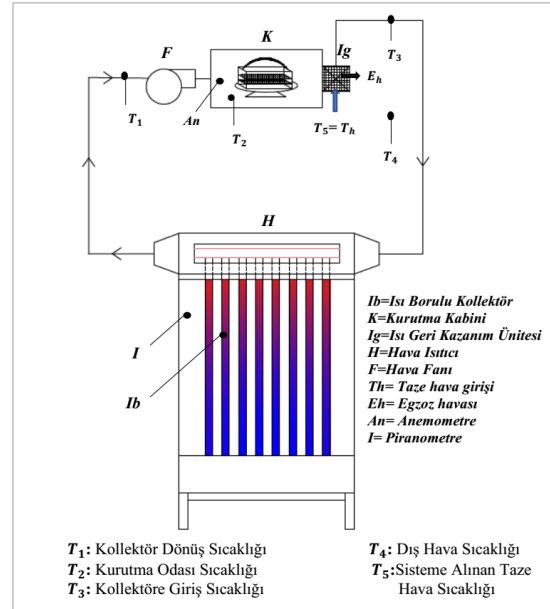
Kivi kurutulmasında kullanılan ısı borulu ve ısı geri kazanımlı güneş enerjili kurutma sisteminin deneysel kurulumu Şekil 1.'de gösterilmiştir. Sistemde konvansiyonel enerji kaynağı kullanılmadan ürünlerin kurutulması amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda da ısı geri kazanım ünitesi ve kanatçıklı ısı boruları kullanılmıştır. Kurutma odasına uygun istiflerin yapılabilmesi ve daha iyi kurutma için gözenekli ve iki katlı kurutma tavaları yerleştirilmiştir. Dış ortamdan alınan soğuk ve kuru hava önce ısı borulu kollektörde ısıtılarak bir fan ile kurutma odasına 1 m/s hızında gönderilmekte ve uygun istif yöntemi ile yerleştirilmiş ürünlerin üzerinden geçirilerek nem alınmakta ve işlem görmüş nemli hava ısı geri kazanım ünitesinden geçirilerek dışarı atılmaktadır. Böylece kurutma havası dışarıdan alınan taze havayla birbirine karışmamaktadır. Kurutma sisteminde ölçüm noktaları ve sistem elemanları Şekil 2.'de gösterilmiştir.

2.1.1. Isı borulu kollektör (Heat pipe collector)

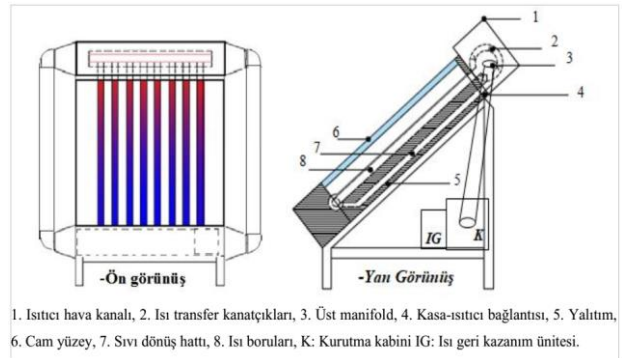
Sistemin en önemli parçalarından birisi ısı borulu düzlemsel kollektördür ve net 1 m² 'lik ısıtma yüzey alanına sahiptir. Kollektördeki ısı boruları manifold şeklinde düzenlenmiştir. Isı borularında kılcallığı (kapillarite) sağlamak için içerisine, 100 mesh'lik pirinç malzemeden fitiller yerleştirilmiştir. Bunun yanında yoğunlaşma bölgesinde yoğunlaşan sıvının kolayca tekrar buharlaşma bölgesine dönmesi geri dönüş hattı ile oluşturulmuştur. Sistemde ısı borusu akışkanı olarak etanol (C₂H₅OH) kullanılmıştır. Isı borusu demetlerinden oluşan kollektöre etanol konulmadan önce vakum pompası ile vakumlama işlemi yapılmıştır. Isı transferini arttırmak için ise ısı borularının sabitlendiği üst manifold üzerine kanatçıklar ve kanatçıklı manifold üzerine 150x150x1000 mm ölçülerinde hava kanalı yerleştirilmiştir. Dışarıdan alınan taze hava bu kanal içerisinden ve kanatçıklar üzerinden geçerek ısınmaktadır. Düzlemsel kollektör kasası içerisinde ısı boruları selektif bir levha üzerine yerleştirilmiştir ve kollektör kasasının alt ve yan yüzeylerinde 20 mm ahşap malzeme kullanılmıştır. Ahşap, içerisinde 20 mm cam yünü ve üzeri 0,35 mm saç malzeme ile kaplanmıştır. Kollektör kasasında geçişten örtü malzemesi olarak 4 mm cam kullanılmıştır. Isı borulu düzlemsel güneş kollektörünün şematik resmi Şekil 3.'te verilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan sistemin deneysel kurulumu (Experimental setup of the designed system)



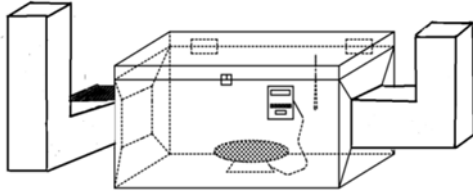
Şekil 2. Tasarlanan sistemin şematik gösterimi ve ölçüm noktaları (Schematic representation of the designed system and measuring points)



Şekil 3. Isı borulu düzlemsel güneş kollektörünün şematik gösterimi (Schematic representation of a heat pipe planar solar collector)

2.1.2. Kurutma odası (Drying chamber)

Kurutma odası, 26x23x60 cm ebatlarında 20 mm kalınlığında ahşap malzemeden imal edilmiştir (Şekil 4.). Üzeri 20 mm cam yünü ile kaplanmıştır. Yalıtım malzemesinin üzeri alüminyum folyo ile sarılarak suya ve neme karşı yalıtılmıştır. Yanlarına 150x150 mm ebatlarında kanallar açılarak bir tarafına fan diğer tarafına ısı geri kazanım ünitesi monte edilmiştir. Kurutma tavası kabin içerisinde ağırlık kaybının ölçülmesi için hassas bir terazi üzerine yerleştirilmiştir. Kurutulacak ürünler için oda içerisine uygun istif ve teması sağlayacak gözenekli, iki katlı ve zikzaklı kurutma tavaları yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Kurutma odasının şematik gösterimi (Schematic representation of the drying chamber)

2.1.3. Isı geri kazanım ünitesi (Heat recovery unit)

Isı geri kazanım cihazı havanın birbirine karışmayacak şekilde çapraz geçişli olarak imal edilmiştir (Şekil 5.). Isı geri kazanım ünitesinin toplam ısı transfer yüzey alanı 0.96 m²'dir.



Şekil 5. Isı geri kazanım ünitesi (Heat recovery unit)

2.2. Kivi Meyvesi (Kiwi Fruit)

Kivi, C Vitamini yönünden zengin, çok besleyici bir meyvedir. Nem içeriği %80'in üzerindedir. Yüksek nem içeriğine sahip olduğu için çabuk bozulan bir meyvedir. Bu nedenle raf ömrü kısadır. Raf ömrü, depolama ve taşıma koşulları ürünün toplam çözünür katı içeriğine bağlıdır. Üründen nemi uzaklaştırıp ağırlığını katı içeriğine indirmek için kurutma işlemi uygulanmaktadır. Kivi meyvesinin ideal kuru madde oranı %20'dir [18].

2.3. Deneyin Yapılışı (Experimental Procedure)

Deneylere başlamadan önce kividaki kuru ve yaş madde miktarını belirlemek için etüvde 105 °C sabit sıcaklıkta, ürün ağırlığının son üç ölçüm değeri eşit çıkana kadar kurutma işlemi yapılmıştır. Bu belirlemelerden sonra

kurutma sisteminde kapalı ve açık çevrimli kurutma deneylerine geçilmiştir. Açık ve kapalı çevrim deneyleri Karabük ili iklim şartlarında, sabit 1 m/s hava hızında, değişken ışınım değerlerinde, 28-29 Ağustos ve 2, 3, 4 Eylül 2019 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 28-29 Ağustos deneylerinde sistem, kurutma havası sıcaklığının ulaşabileceği değerleri belirlemek için kurutma kabine ürünü konulmadan, hava damperleri kapatılarak kapalı çevrim olarak çalıştırılmıştır. 2, 3, 4 Eylül tarihlerindeki, açık çevrim deneylerinde ise eşit olarak dilimlenmiş kiviler tavalara üzerine dizilmiş ve hava damperleri açık tutulmuştur. Her yeni günde ayrı ayrı 200 g'lık 5 mm olarak dilimlenmiş kivi meyvesi kullanılmıştır. Kivilerin yerleştirildiği tavalara kurutma kabini içerisinde hassas bir terazi üzerine yerleştirilmiştir. Kurutma deneyi süresince her yarım saatte, sıcaklık, ışınım, bağıl nem ve ağırlık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir.

2.4. Kurutma Sisteminin Teorik Analizi (Theoretical Analysis of the Drying System)

Tasarlanan kurutma sistemi termodinamik açıdan analiz edilmiş ve kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir. Hesaplamalarda sistem içerisinde zorlanmış taşınım, sistem dışında doğal taşınım şartlarının olduğu kabul edilmiştir. Sistemde dolaşan hava hızı sistemin her bölgesi için 1 m/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Ürünlerdeki kuru ve yaş esasa göre hesaplanan su miktarları Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak bulunmuştur. Kurutma yapılan ürünlerdeki kuru ağırlığa göre hesaplanan nem miktarı;

$$MC_{KA} = \frac{M_i - M_s}{M_s} \quad (1)$$

Yaş ağırlığa göre hesaplanan nem miktarı;

$$MC_{YA} = \frac{M_i - M_s}{M_i} \quad (2)$$

eşitliklerinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Kuru madde miktarının hesaplanmasında;

$$\% \text{Kuru Madde} = \frac{M_s}{M_i} \times 100 \quad (3)$$

eşitliği kullanılmıştır. Eşitlik 1, 2, 3'deki, M_i ve M_s ürünün ilk ve son ağırlıklarıdır.

Kurutulan ürünlerdeki nem oranının değişimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$NO = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (4)$$

Kivi diliminin denge nem içeriği konvektif kurutma sırasında sifıra eşit kabul edilmiştir. Bunun nedeni bir katıda ısı iletiminin ısı enerjisinin depolama hızına olan oranı ihmal edilebilecek kadar küçük ise bu denklem basitleştirilebilir [19-21]. Denklemin son hali Eşitlik 5'te ki gibidir. Ürün içerisinde herhangi bir zamanda buharlaşabilecek nem miktarının, üründen başlangıç anında buharlaşabilecek tüm nem miktarına oranı olarak tanımlanır.

$$NO = \frac{M_t}{M_o} \quad (5)$$

Kurutma ürünlerinden 1 g nem uzaklaştırmak için tüketilmesi gereken enerji olarak tanımlanan özgül nem çekme oranı (SMER):

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{W_f} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Kivi meyvesinin su aktivitesinin hesaplanabilmesi için denge bağıl nemi ile olan ilişkisi incelenmelidir. İçinde bulunduğu hava ile denge halinde bulunan gıda maddesinin içerdiği nem miktarına denge nemi denir. Denge halindeki gıda maddesini çevreleyen havanın bağıl nemine ise denge bağıl nemi denmektedir [22]. Buna bağlı olarak su aktivitesi;

$$a_w = \frac{\text{Denge Bağıl Nemi}}{100} \quad (7)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Sistemin enerji kazançları hesaplamalarında kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

Sisteme giren enerji;

$$Q_g = A \cdot I \quad (8)$$

Isı geri kazanım ünitesinden kazanılan enerji hesabında;

$$Q_{ig} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_3 - T_4) \quad (9)$$

Isı borulu kollektör ile elde edilen enerji hesabında;

$$Q_{ibk} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_1 - T_3) \quad (10)$$

eşitlikleri kullanılmıştır.

Sistemin enerji kaybı hesaplamalarında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$\sum Q_{kayıp} = Q_{C1} + Q_{C2} \quad (11)$$

Eşitlik 11'de verilen Q_{C1} dışarı atılan nemli egzoz havasından oluşan ısı kaybı, Q_{C2} ise sistem duvarlarından (kurutma odası, kanallar, vb.) dış ortama olan ısı kayıpları olup;

$$Q_{C1} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_4) \quad (12)$$

$$Q_{C2} = K \cdot A \cdot (T_2 - T_4) \quad (13)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Q_{C2} 'nin hesabında K toplam ısı transfer katsayısının bulunabilmesi için sistem içerisindeki zorlanmış h_i ve dışındaki doğal taşınım h_d katsayılarının bilinmesi gerekir. K ısı transfer katsayısı Eşitlik 14 ile hesaplanmıştır.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_y}{k_y} + \frac{L_s}{k_s} + \frac{1}{h_d}} \quad (14)$$

Fırın içerisindeki zorlanmış ısı taşınım katsayısı h_i 'nin hesabında Eşitlik 15 ve 16'dan yararlanılmıştır;

$$Nu = h_i \cdot L / k_h \quad (15)$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (\text{Dittus-Boelter}) \quad (16)$$

Sistemin dış yüzeylerinde (fırın, kanallar) doğal ısı taşınım şartları mevcut olup; buradaki ısı taşınım katsayısının h_d 'nin hesabında;

$$Nu = h_d \cdot L / k_h \quad (17)$$

$$Nu = 0,54x Ra^{0,25} \quad (18)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (19)$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_y - T_\infty) \cdot L^3}{\nu^2} \quad (20)$$

eşitlikleri kullanılmıştır. Isı geri kazanım ünitesinin toplam U ısı transfer katsayısı hesabı için;

$$Q_{ig} = m_1 \cdot C_{p1} \cdot \Delta T_1 = m_2 \cdot C_{p2} \cdot \Delta T_2 = U \cdot A \cdot \Delta Q_m \Rightarrow U = \frac{Q_{ig}}{A \cdot \Delta Q_m} \quad (21)$$

Eşitlik 21'de $(m_1 \cdot C_{p1}) = C1$, $(m_2 \cdot C_{p2}) = C2$ akışkan değerleri birbirine eşittir. Isı geri kazanım cihazının ısı transfer alanı sabit olup ters akışlı logaritmik sıcaklık farkı Eşitlik 22 ile hesaplanır.

$$\Delta Q_m = \frac{(\Delta Q_g - \Delta Q_c)}{\ln(\Delta Q_g / \Delta Q_c)} \quad (22)$$

$$\Delta Q_g = T_2 - T_3 \quad (23)$$

$$\Delta Q_c = T_3 - T_4 \quad (24)$$

Isı geri kazanım ünitesinin verim hesabı;

$$\eta_{ig} = \frac{(T_3 - T_4)}{(T_2 - T_4)} \quad (25)$$

eşitliği ile bulunmuştur. Isı borulu kollektör verim hesabı;

$$\eta_{ibk} = \frac{Q_{ibk}}{Q_g} \quad (26)$$

eşitliği ile bulunmuştur. Sistemin termal verimi, ısı borulu kollektörden elde edilen enerji Q_{ibk} ile ısı geri kazanım ünitesinden kazanılan enerjinin toplamının Q_{ig} sisteme giren enerjiye oranı Q_g olup Eşitlik 27 ile hesaplanabilir.

$$\eta_t = \frac{Q_{ibk} + Q_{ig}}{Q_g} \quad (27)$$

Sistemin teorik analizinde kullanılan parametreler Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Sistemin teorik analizlerinde kullanılan parametreler (4 Eylül 2019 tarihine ait) (Parameters used in the theoretical analysis of the system on September 4, 2019)

Parametreler	Değer	Birim
Kollektör dönüş sıcaklığı, T_1	38,2	°C
Kurutma odası sıcaklığı, T_2	38,0	°C
Kollektöre giriş sıcaklığı, T_3	32,7	°C
Dış hava sıcaklığı, T_4	30,55	°C
Sisteme alınan taze hava sıcaklığı, T_h	30,55	°C
Yüzey sıcaklığı, T_y	33,65	°C
Ortam sıcaklığı, T_∞	32,3	°C
Fan gücü, W_f	50,6	W
Nemli ürün kütlesi	200	g
Kurutulduktan sonra ürün kütlesi	40	g
Kurutma havası hızı, v	1	m/s
Havanın yoğunluğu, ρ_{hava}	1,126	kg/m ³
Havanın özgül ısı, $C_{p,hava}$	1,009	kJ/kgK
40° hava için kinematik viskozite, ν_{hava}	16,97x10 ⁻⁶	m ² /s
Havanın iletim katsayısı, k_h	0,0271	W/mK
Prandtl sayısı, Pr	0,71	-
Kullanılan akışkan	Etanol	-
Yalıtım malzemesinin iletim katsayısı, k_y	0,615	W/mK
Sunta malzemesinin iletim katsayısı, k_s	0,040	W/mK

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

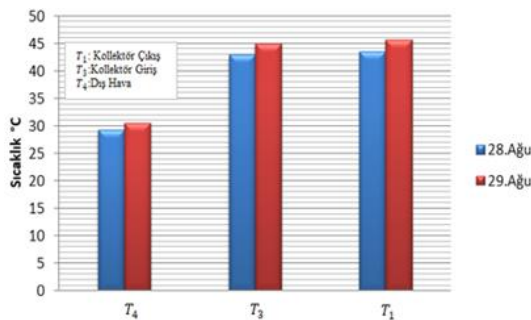
Bu çalışmada, güneş enerjili düzlemsel ısı borulu kollektörlü ve ısı geri kazanım ünitesi bir kurutucu tasarlanıp imal edilerek bu sistemde kivi meyvesi kurutulmuştur. Çalışmada başlangıç nem içeriği %83 olan kivi meyvesinin kurutulmasında, enerji tüketiminin azaltılması, hijyenik çevre koşullarında ve atık ısıdan kazanılan enerjinin kullanılması amaçlanmıştır. Deneylemlerden elde edilen veriler ile teorik analizler yapılmıştır. Teorik ve deneysel analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2.'de verilmiştir.

Deneysel çalışmalar, Ağustos 2019'da 2 gün ve Eylül 2019'da 3 gün olmak üzere 5 günde tamamlanmıştır. Sistem ilk iki gün kapalı çevrim çalıştırılarak kurutma havası sıcaklığının ulaşacağı değerler belirlenmiş, bu değerler iki günün ortalama değerleri olarak Şekil 6.'da verilmiştir. İçerisinde ürün olmaksızın çalıştırılan kapalı

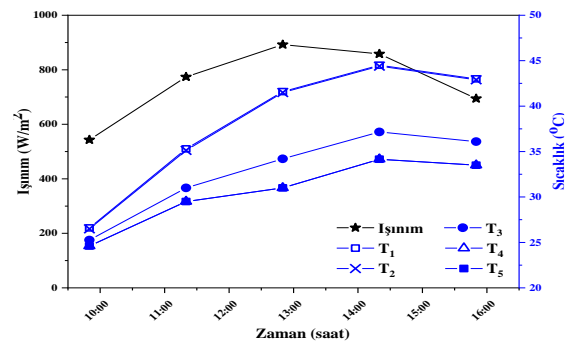
sistem, yaklaşık 30 °C olan dış hava sıcaklığını ısı borulu kollektörde ortalama 44 °C'ye yükseltmiştir. İki günün ortalama ışınlam değerlerinin sırasıyla 724,90 W/m² ve 813,17 W/m² olduğunda kollektör çıkış (T₁) ile kollektör giriş (T₃) sıcaklık değeri arasında sırasıyla 0,6 ve 0,62 °C'lik fark vardır. Bu sıcaklık farklarının düşük olmasının nedeni sistemin kapalı çevrim olarak çalışmasındadır. Sistem ışınlam değerine bağlı olarak ısı dengeye gelmektedir. Isıl dengeyi etkileyen faktörler ışınlam değeri ile sistemden iletimsel ve infiltrasyon olan ısı kayıplarıdır. Buradan sistemde kurutma sıcaklığının bu ışınlam değerlerinde 45 °C'ye kadar çıkabileceği belirlenmiştir. 2, 3 ve 4 Eylül 2019 tarihlerinde açık çevrim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Açık çevrim deneylerinde ışınlam değerleri en stabil olan 4 Eylül gününe ait değerler kullanılmıştır ve çalışmada bu değerler verilmiştir. 4 Eylül gününde elde edilen ışınlama bağlı sıcaklık değişim grafikleri Şekil 7.'de verilmiştir.

Çizelge 2. Analitik sonuçlar (Analytical results)

Parametreler	Değer	Birim
Kanal içi ısı taşınım katsayısı, h_i	5,17	W/m ² K
Kanal dış yüzey ısı taşınım katsayısı, h_d	1,69	W/m ² K
Yalıtım malzemesinin kesit kalınlığı, L_y	0,02	m
Sunta malzemesi kesit kalınlığı, L_s	0,02	m
Sistemin düşeyde karakteristik uzunluğu, L	1,5	m
Sistemde dolaşan hava debisi, \dot{m}	0,027	kg/s
Reynolds sayısı, Re	8839,13	-
Nusselt sayısı, Nu	28,63	-
İletim katsayısı, K	0,704	W/m.K
Kivinin yaş baza göre nem miktarı, MC_{YA}	0,83	g su/g yaş madde
Kivinin kuru baza göre nem miktarı, MC_{KA}	4,94	g su/g kuru madde
Sistemin artırdığı sıcaklık, T	14,63	°C
Kuru madde miktarı,	16,8	%
Isı geri kazanım ünitesi iletim katsayısı, U	12,38	W/m ² K
Isı geri kazanım ünitesinden enerji kazanımı, Q_{ig}	60	W
Isı geri kazanım ünitesi verimi, η_{ig}	28	%
Isı borulu kollektör verimi, η_{ibk}	24	%
Sistem termal verimi, η_t	39	%
Nem oranı, NO	0,03	-
Özgül nem çekme oranı, SMER	0,53	g/Wh
Rayleigh sayısı, Ra	$5,7 \times 10^7$	-
Biot sayısı, β	$3,2 \times 10^3$	-
Grashof sayısı, Gr	811614.08	-

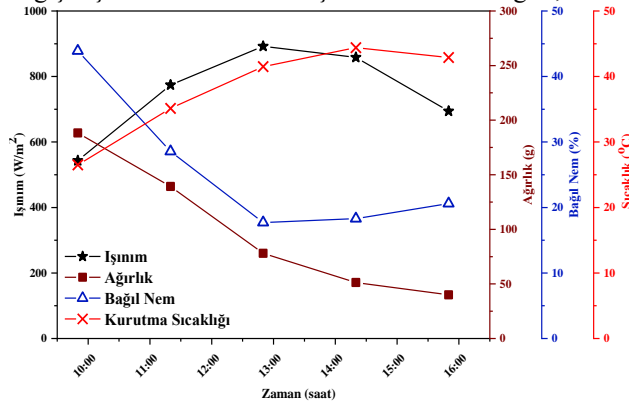


Şekil 6. 28-29 Ağustos günlerine ait sıcaklık değişimleri (Temperature variations from 28 to 29 August)

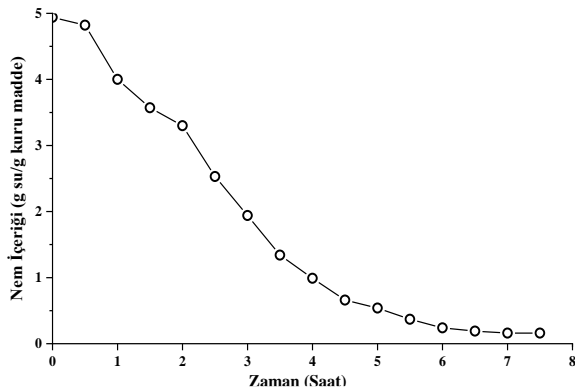


Şekil 7. 4 Eylül 2019 gününe ait ışınlama bağlı sıcaklık değişimi (Variation of temperature with radiation on September 4, 2019)

Işınım değerinin artmasıyla birlikte kurutma havası sıcaklığı da artış göstermiştir. Açık çevrim olarak çalıştırılan sistem, ürünlerin eklenmesiyle birlikte Şekil 7.'de görüldüğü üzere kollektör çıkış (T_1) ile kollektör giriş (T_3) sıcaklık değeri arasındaki fark artmıştır ve yaklaşık olarak 6 °C olarak belirlenmiştir. Ortalama 32 °C'lik dış hava sıcaklığı ile 40 °C olan kollektör çıkış sıcaklığı egzoz edilirken, ısı geri kazanım cihazında gerçekleştirildikleri ısı transferi ile kollektör giriş sıcaklığı yaklaşık olarak 34 °C'ye yükselmiştir. Böylece ısı geri kazanım cihazında yaklaşık 2 derecelik sıcaklık artışı sağlanmıştır. 4 Eylül gününe ait ışınım ve zamana bağlı ağırlık, bağıl nem ve kurutma sıcaklığı değişimleri Şekil 8.'de verilmiştir. Işınım değerinin ve kurutma havası sıcaklığının artmasına bağlı olarak üründe ağırlık azalması gerçekleşmiştir. Başlangıçta, 200 g ağırlığındaki ürün 3 saat sonunda 13:00' da yaklaşık 75 g'a düşerken, daha sonraki 3 saatlik zaman dilimindeki ağırlık azalması daha yavaş gerçekleşmiştir. Ürünlerde ortalama 39,4 g değerine kadar kurutma gerçekleşmiştir. Yaklaşık olarak ürünlerin ağırlıkları %80 azalmıştır. Deney süresince ürünü çevreleyen havanın bağıl nem değerleri %44 ile %18,3 arasında ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak değişmiştir. Kurutulan ürün için su aktivitesi değeri, nem

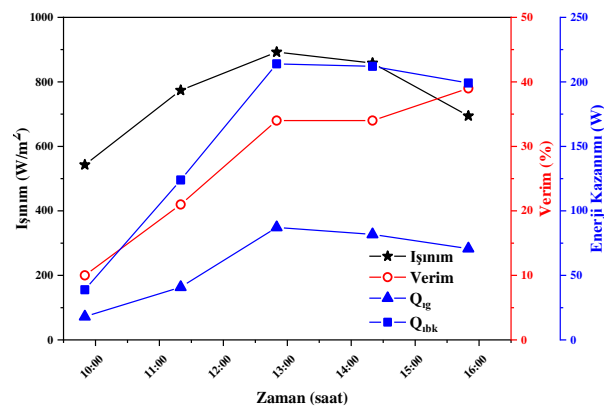


Şekil 8. 4 Eylül 2019 gününe ait, ışınım ve zamana bağlı ağırlık, bağıl nem ve sıcaklık değişimleri (Variations in weight, relative humidity and temperature depending on radiation and time on September 4, 2019)

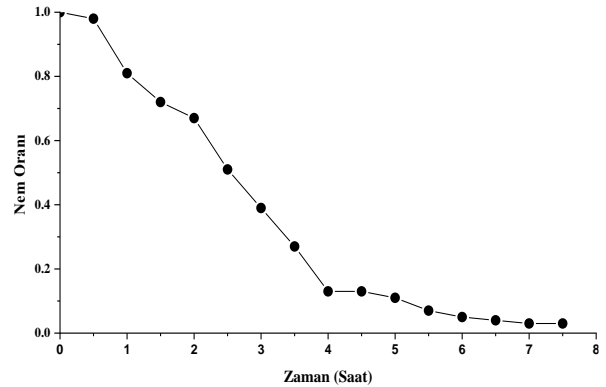


Şekil 10. Zamana bağlı nem içeriği değişimi (Variation of moisture content with time)

içeriği değerlerine de bakıldığında kuru meyveler için önerilen aralıkta ($a_w = 0,60-0,65$) olduğu görülmüştür [23]. 4 Eylül 2019 gününe ait kurutma deneyinde, zamana ve ışınım değerlerine bağlı enerji kazanım değerleri Eşitlik 9 ve 10 ile, termal verim değerleri ise Eşitlik 27 ile hesaplanmıştır ve Şekil 9.'da verilmiştir. Kuru baza göre ürünlerde meydana gelen nem içeriği değişimi Eşitlik 1'den hesaplanmış ve Şekil 10.'da grafik olarak verilmiş olup grafikte, kurutma işleminde kivi için zamana bağlı nem içeriği değişimi görülmektedir. Deney süresine bağlı olarak üründeki ağırlık azalması ve nem içeriği düşüşü 1. kuruma işlemi olarak bilinen evrede hızlı gerçekleşmektedir. Daha sonra 2. kuruma evresinde üründeki ağırlık azalması ve nem içeriği daha yavaş gerçekleşmektedir. Ürünlerin higroskopik yapılarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Başlangıçta 4,94 g su/g kuru madde nem içeriğine sahip ürünler, özellikle ilk beş saat aralığında hızlı bir düşme eğilimi göstermiştir. Nem içeriği kurutma süresinin sonunda 0,16 g su/g kuru madde olarak belirlenmiştir. Ürünlerin nem oranı, kurutma esnasında herhangi bir anda ürün nem içeriğinin, ürünün başlangıç nem içeriğine olan oranıdır. Kuru baza göre nem oranı hesabında Eşitlik 5 kullanılmıştır ve Şekil 11.'de grafiksel olarak değişim gösterilmiştir.



Şekil 9. 4 Eylül 2019 gününe ait, zamana bağlı sistem verimi ve enerji kazanım değişimleri (Variations of system efficiency and energy gain depending on time on September 4, 2019)



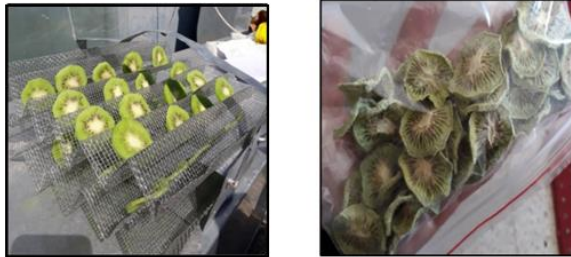
Şekil 11. Zamana bağlı nem oranı değişimi (Variation of moisture ratio with time)

Kuru baza göre ürünlerin sahip olduğu 4,94 g su/g kuru madde değerinin başlangıçta sahip olduğu nem oranı 1'dir. Bu oran ölçümler sonunda Şekil 11.'de de görüldüğü gibi 0,03'e kadar düşmektedir. 4 Eylül açık çevrim deneyi sonucunda elde edilen sistem verimi en yüksek ışınım değerinde (892 W/m²) öğlen saat 13:00'da %34 olarak bulunmuştur. Sistem veriminin ışınım düşüştükçe azalması beklenirken ısıl ataletten dolayı sistem verimi saat 15:50'de %39 olmuştur. Sistemde ısı borulu kollektörden elde edilen enerji öğlen saat 13:00'da ışınımın en yüksek olduğu değerde 214 W, aynı ışınım değerinde ısı geri kazanım ünitesinden elde edilen enerji ise 87 W olarak belirlenmiştir. Şekil 12.'de kurutma sürecinde harcanan enerjinin yüzdelik dağılımı görülmektedir.



Şekil 12. Enerji kazançlarının yüzdelik dağılım değerleri (Percentage distribution values of energy gains)

Sistemde kullanılan ısı geri kazanım cihazı ile yaklaşık ortalama 60 W'lık enerji kazanımı sağlanmıştır. Kurutma işlemi esnasında sistemden elde edilen enerjinin %73'ü ısı borulu kolektör, %27'si ısı geri kazanım cihazından sağlanmıştır. Isı geri kazanım cihazından elde edilen enerji kurutma işlemi için gerekli toplam enerjinin dörtte birini karşılamaktadır ve bu değer azımsanmayacak kadar önemli bir miktardır. Deneysel çalışma için hazırlanan dilimlenmiş kivilerin kurutmadan önceki ve sonraki görünümleri Şekil 13.'de verilmiştir.



Şekil 13. Kivi ürününün kurutmadan önceki ve sonraki görünümleri (The pictures of kiwi product before and after drying)

Duyusal analizler ve hesaplanan ağırlık değişimlerine göre kurutma işleminin başarılı olduğu görülmüştür. Duyusal analizi yapılan kivilerin istenilen kurulukta ve esneklikte olduğu gözlenmiş, renginde bozulma meydana gelmemiştir. Su aktivitesi değeri kuru meyveler

için önerilen aralıkta olduğundan kurutulan üründe bozulma ve küf oluşumu gözlemlenmemiştir.

4. SONUÇ ve ÖNERİ (CONCLUSION and SUGGESTION)

Bu deneysel çalışmadan elde edilen veriler ve hesaplamalar dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler ve sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Açık çevrim deneyinde sistemde kivi meyvesinin kurutulması için 1 m/s hava hızında maksimum 44,4 °C sıcaklık değerine ulaşılmıştır.
- Deneylelerdeki ölçümler sonucunda kivi meyvesinin başlangıçta yaş ağırlığı baz alınarak hesaplanan nem miktarı 0,83 g su/g yaş madde, kuru bazda ise 4,94 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Bu değer literatür araştırmalarında yaş bazda 0,83, kuru bazda 4,88 g su/g kuru madde olduğu görülmüştür. Çalışmanın literatür ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.
- Kurutulan ürünlerin nem oranı 0,03'e kadar düşmüştür.
- Ürünlerden 1 g nem uzaklaştırmak için tüketilen enerji (SMER) 0,53 g/Wh olarak bulunmuştur.
- Kurutulan ürün için su aktivitesi değeri, nem içeriği değerlerine de bakıldığında kuru meyveler için önerilen aralıkta ($a_w = 0,60-0,65$) olduğu görülmüştür. Su aktivitesi değeri kuru meyveler için önerilen aralıkta olduğundan kurutulan üründe bozulma ve küf oluşumu gözlemlenmemiştir.
- Sistemin genel verimi 4 Eylül saat 15:50'de 694,3 W/m² ışınım değerinde maksimum %39, ısı borulu kollektörün ortalama verimi %24 ısı geri kazanım ünitesinin verimi %28'dir.
- Kurutma işleminde harcanan enerjinin %27'sini ısı geri kazanım ünitesi, %73'ü de ısı borulu kollektör tarafından karşılanmıştır.
- Ürünlerde %80 oranında ağırlık azalması saptanmıştır. Enerji tasarrufu sağlanmasının yanında, ürünler yer kaplamadan kapalı ortamda kurutulmuştur.
- Dış ortamın olumsuz etkilerine maruz kalmadan hijyenik bir kurutma gerçekleşmiştir.
- Duyusal analizler ve hesaplanan ağırlık değişimlerine göre kurutma işlemi başarılı olmuştur. Duyusal analiz olarak kurutulan kivilerin ikiye katlandığında esnek yapıda olduğundan kırılmamış ve renginde bir bozulma olmadığı gözlemlenmiştir.

Çalışmada ısı borulu kollektör ile hava ısıtılmasında daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılması gerekir. Burada ısı borularının manifold şeklinde düzenlenmesi ısı borulu kollektörün verimini düşürmüştür. Isı borulu kollektörün verimini artırabilmek için ısı borularının tek tek bağımsız tasarlanması ve farklı akışkanlarla denenmesi önerilir. Ayrıca sistemde kullanılan ısı geri kazanım ünitesinin giriş çıkışları damperlerle desteklenip kısmi kapalı kısmi açık olacak şekilde çalıştırılarak sistemin enerji kayıpları

da azaltılmış olacaktır. Sistem içerisinde farklı ürünler için farklı kurutma tavaları kullanılarak değişik kurutma hızlarında yeni kurutma deneyleri gerçekleştirilebilir.

SİMGELER ve KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

MC_{KA}	: Kuru ağırlığa göre nem miktarı
MC_{YA}	: Yaş ağırlığa göre nem miktarı
M_i	: Ürünün ilk ağırlığı (g)
M_S	: Ürünün son ağırlığı (g)
NO	: Nem oranı
Y_A	: Yaş ağırlık
K_A	: Kuru ağırlık
SMER	: Özgül nem çekme oranı (g/Wh)
\dot{m}_d	: Saatlik kuruma miktarı
\dot{W}_f	: Fan gücü (W)
Q_g	: Sisteme giren enerji (W)
A	: Yüzey alanı (m^2)
I	: Işınım (W/m^2)
$Q_{Ç1}$: Sistemden egzoz edilen enerji kaybı (W)
$Q_{Ç2}$: İletimle gerçekleşen enerji kaybı (W)
\dot{m}	: Kütleli debi (kg/s)
M_0	: Başlangıç nem içeriği (g su/g yaş madde)
M_t	: Herhangi bir zamandaki nem miktarı (g su/g yaş madde)
M_e	: Denge nem içeriği
a_w	: Su aktivitesi
C_p	: Havanın özgül ısısı (1.009 kJ/kg°C)
K	: Isı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
Δt	: Sıcaklık farkı (°C)
η_t	: Termal verim
v	: Hava hızı (m/s)
ρ_{hava}	: Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
$C_{p,hava}$: Havanın özgül ısısı (kJ/kg.K)
Pr	: Prandtl sayısı
k_y	: Yalıtım malzemesinin iletim katsayısı (W/m.K)
k_s	: Sunta malzemesinin iletim katsayısı (W/m.K)
k_h	: Ortalama 40° de havanın iletim katsayısı (W/m.K)
h_i	: Kanal içi ısı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$)
h_d	: Kanal dış yüzey ısı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$)
L_y	: Yalıtım malzemesinin kesit kalınlığı (m)
L_s	: Sunta malzemesi kesit kalınlığı (m)
L	: Sistemin düşeyde karakteristik uzunluğu (m)
Ra	: Rayleigh sayısı
Re	: Reynolds sayısı

Nu	: Nusselt sayısı
Q_{ibk}	: Isı borulu kollektörden kazanılan enerji (W)
Q_{ig}	: Isı geri kazanım cihazından kazanılan enerji (W)
T_1	: Kollektör çıkış sıcaklığı (°C)
T_2	: Fırın sıcaklığı (°C)
T_3	: Kollektör giriş sıcaklığı (°C)
T_4	: Dış hava sıcaklığı (°C)
T_h	: Taze hava sıcaklığı (°C)
T_y	: Yüzey sıcaklığı (°C)
T_∞	: Ortam sıcaklığı (°C)

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Hakan DUMRUL: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Edanur KAYA: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Sezayi YILMAZ: Sonuçları analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Nabnean, S., and P. Nimnuan., "Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana", *Case Studies in Thermal Engineering* 22: 100787, (2020).
- [2] Gültekin, R., "Şanlıurfa şartlarında patlıcanın kurutulmasında güneş enerjili kurutma makinesi geliştirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Urfa, Türkiye, (2016).
- [3] Nimnuan, P., and Nabnean, S., "Experimental and simulated investigations of the performance of the solar greenhouse dryer for drying cassumunar ginger (*Zingiber cassumunar roxb.*)", *Case Studies in Thermal Engineering*, 22 : 100745, (2020).
- [4] Nasri, F., "Solar thermal drying performance analysis of banana and peach in the region of Gafsa (Tunisia)", *Case Studies in Thermal Engineering*, 22 :100771, (2020).
- [5] Yağcıoğlu, A., "*Ürün İşleme Tekniği*", EÜZF Yayınları, İzmir, (1996).

- [6] Darıcı, S., “Design, manufacture and thermal analysis of a single pass solar air collector at different mass flow rates”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (3): 1187-1197, (2020).
- [7] Acar, B., Öz, E.S. and Gedik, E., “Experimental investigation of collector efficiencies on separated and connected heat pipes”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (2): 425–429, (2008).
- [8] Su, U.Ö., Sözen, A., Menlik, T., “Isı borulu güneş kolektörlerinde nano çözelti ile performansın iyileştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 245–257, (2019).
- [9] Doğan, H., “Isı Borulu Güneş Kolektörü ile Kurutma”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5 (1): 921-925, (1999).
- [10] Karaca G., Dolgun E.C. ve Aktaş M., “Balın kurutulması için enerji verimli ve hijyenik yeni bir sistem tasarımı”, *Politeknik Dergisi*, 23(3):713-719, (2020).
- [11] Reyes, A., Vásquez, J., Pailahueque, N., and Mahn, A., “Effect of drying using solar energy and phase change material on kiwifruit properties”, *Drying Technology*, 37 (2): 232–244 (2019).
- [12] Variyenli, H. İ., “Güneş enerjisi destekli düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarının performanslarının kivi kurutarak karşılaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 723–729 (2018).
- [13] Aktaş, M., ve Kara, Ç., “Güneş enerjisi ve ısı pompalı kurutucuda dilimlenmiş kivi kurutulması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (4), (2013).
- [14] Dharmadurai, P. L., Vasanthaseelan, S., Bharathwaaj, R., Dharmaraj, V., Gnanasekaran, K., Balaji, D., Sathyamurthy, R., “A comparative study on solar dryer using external reflector for drying grapes”, *Materials Today: Proceedings*, in press, (2020).
- [15] Cankurtaran, E., “Güneş Enerjili Kurutma Sisteminde Çileğin Kurutma Karakteristiğinin Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat, Türkiye, (2018).
- [16] Suzihaque, M. U. H. and Driscoll, R., "Effects of solar radiation, buoyancy of air flow and optimization study of coffee drying in a heat recovery dryer", *Procedia Engineering*, 148: 812–822 (2016).
- [17] Aktaş, M., Şevik, S., Amini, A., Khanlari, A., “Analysis of drying of melon in solar-heat recovery assisted infrared dryer”, *Solar Energy*, 137, 500-515 (2016).
- [18] <https://organicgroup.eu/?249/detay/kivinin-bitkisel-ozellikleri-ve-yetistiricilik>, (Temmuz 2021).
- [19] Torke-Harchegani, M., Ghanbarian, D. and Sadeghi, M. “Estimation of whole lemon mass transfer parameters during hot air drying using different modelling methods”, *Heat Mass Transfer*, 51: 1121-1129, (2015).
- [20] Beigi, M. Influence of Drying Air parameters on mass transfer characteristics of apple slices. *Heat Mass Transfer*, 15: 1-9, (2015).
- [21] Ceylan, I.; Aktas , M. “Modeling of a hazelnut dryer assisted heat pump by using artificial neural networks”. *Applied Energy*, 85, 841–854, (2008).
- [22] Evranuz, Ö., “Gıda maddelerinin kurutulması sırasında kuruma kinetiğini kontrol eden faktörler ve kalite üzerine etkileri”, *Gıda*, 13(1), 51-58, (1988).
- [23] <http://www.bosforsnappy.com/gidalarda-su-aktivitesi/> (Haziran 2021).